

유무선송수신을 이용한 심층혼합처리공법 수직도 및 심도 자동측정에 관한 연구 Wire and Wireless Transmitting-Receiving Set for Vertical Angle and Depth Measurement of Deep Mixing Method

한우선¹⁾ Woo-Sun Han, 유찬²⁾ Chan Yu, 한만복³⁾ Man-Bok Han

¹⁾ 해공환경산업(주) 회장, President, Haekong Environment Co., Ltd

²⁾ 경상대학교 농공학과 교수, Professor, Gyeong Sang University

³⁾ 대전시지하철건설본부 공사감독, Director, Daejeon Subway Construction Headquarters

SYNOPSIS : Demands for the automatic measurement on angle and depth of equipment were arisen for the better construction in deep mixing method and grouting method. Civil, geotechnical, electronic, and communication experts worked together for the development of automatic measuring devices using wire and wireless transmitting-receiving set. The results on the development of automatic devices in an industrial installation will be presented.

Keywords: Automation, Measurement, Wireless, Boring, Vertical excavation

1. 서론

토목공사현장에서 지중심층차수공사, 지중심층고화공사, 지중연속벽공사, 연직배수재타설공사, 파일항타공사, 모래다짐말뚝공사, 심정착정공사, CIP(Cast In Placed Pile)타설공사 등과 같이 지중에 수직방향으로 장치를 타설하는 경우 장치의 수직도 및 심도를 정확하게 유지하는 것은 공사의 품질관리 및 성공을 위하여 매우 중요하다. 따라서 지중에 타설되는 장치의 수직도 및 심도를 자동으로 측정할 수 있는 장비의 고안이 요망된다. 기존의 장치에는 수직도 및 심도를 측정하는 장비가 장착되어 있지 않은 경우가 많다. 그러나 최근에 들어와 여러 가지 형태의 측정장비가 개발되어 있으나 시장조사 결과 각도 측정센서와 디스플레이장치가 분리되어 무선으로 데이터를 주고받는 제품은 아직까지 없는 것으로 판단되고 있다.

따라서 본 연구에서는 작업자가 접근하기 어려운 장소 특히, 육안으로 직접 볼 수 없는 지중에 설치되는 연직차수벽 등 심층혼합처리공법의 수직도 및 심도를 생명으로 하는 지하시설물의 각도를 실시간으로 필요한 장소에서 확인할 수 있도록 하기 위하여 유·무선송수신(wire and wireless transmission-reception)을 이용한 수직도 측정장치를 개발하고자 하였다. 본 기술의 개발을 위하여 토목기술자, 지반기술자, 전자기술자, 통신기술자 등이 상호 협력하여 연구를 수행하였다. 마침내 장기간의 연구결과 유·무선송수신 수직도 및 심도 자동측정장치가 개발되었다. 본 연구를 통하여 개발된 무선송수신을 이용한 수직도 및 심도 측정장치는 심층혼합고결처리공법의 일종인 기존의 DWM(Deep Wing Mixing)공법에 장착하여 실용화하게 되었다.

2. 심층혼합처리공법 개요

심층혼합처리공법의 일종인 DWM공법은 지반 고결층 교반관입 교반처리공법이다. 본 공법은 지반의 강도 증진과 변형 억제를 목적으로 사용되는 심층혼합처리공법의 응용 형태로서 배합 설계한 시멘트계 고화재를 슬러리상태로 원 지반에 주입, 강제혼합 교반하여 지중에서 양생함으로써 필요로 하는 강도 및 투수계수를 얻을 수 있는 공법이다. 본 공법은 굴진 장비로 지중교란과 함께 지반 속에 개량재인 고화재(HEC: High Environment Control, HWS: High Wall Soil)를 공급한 후 이를 강제적으로 원위치토와 교반혼합하여 흙과 개량재를 화학적으로 반응시켜 토질성상을 안정화함으로써 원지반의 강도를 증가시키고 투수성을 저하시키며 침하를 방지하기 위한 지중연속벽이나 기초보강체 등을 형성하는 공법으로 최대 50m심도까지 시공할 수 있는 능력을 갖고 있다.

본 공법은 지중에서 교반관입장치가 고화재를 균질하게 분사교반할 수 있는 특징을 가지고 있으며 기존장비가 갖는 시공 중, 층상 또는 암석이 혼입된 지반에는 혼합율이 불량하게 됨을 분석하여 혼합액이 교반날개를 통한 주입액 공급과 적합한 토오크 등을 계산하여 선단굴착부 및 교반날개의 형상을 컴퓨터 모형해석하여 문제점을 보완한 것이다. 사용약액은 지반조건에 따라 다르나 일반적으로 시멘트와 고화원소들을 일정한 배합비로 혼합하여 이를 다시 용수와 재혼합하여 계면활성이 양호한 슬러리상태로 만들어 이를 룯드 내공을 통하여 소요심도까지 도달시킨 후 분사시켜 교반혼합되도록 한다.

그림 1은 DWM 공법의 장비 개념도이고, 그림 2는 공법의 시공순서 일반도이다. 그리고 그림 3은 DWM장비 3축 교반장치이고, 그림 4는 DWM 공법에 의한 연직차수벽 조성순서도이다. 본 연구를 통하여 기존 DWM장비를 개선하여 무선송수신을 이용한 수직도 자동측정장치, 유·무선송수신을 이용한 심도 자동측정장치 등이 추가로 개발·장착하여 더욱 최신의 공법으로 개량되었다.

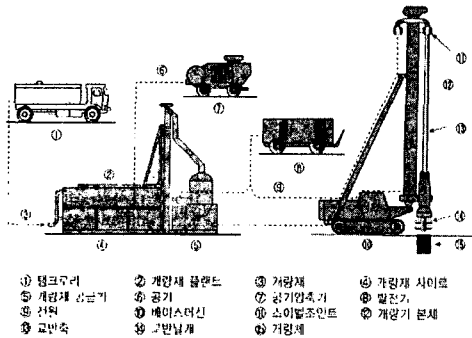


그림 1. DWM 공법의 장비 개념도

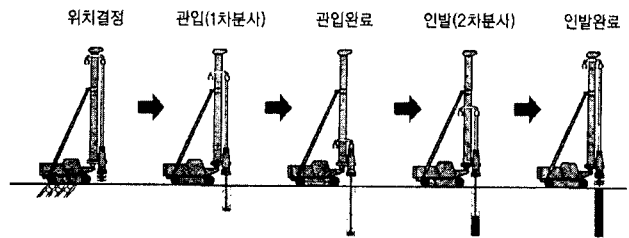


그림 2. DWM 공법 시공순서 일반도



그림 3. DWM 장비 3축 교반장치

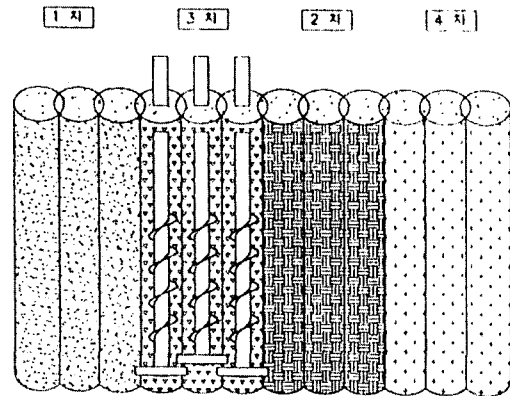


그림 4. DWM 공법에 의한 연직차수벽 조성순서도

3. 무선송수신 수직도 자동측정장치 개발

일반적으로 보링·그라우팅 및 심층혼합처리 작업 시 장비의 수직도는 매우 중요하다. 만약에 장비의 수직도가 제대로 이루어지지 않는 경우에는 지중에 천공된 구멍이나 처리된 벽체가 저부에서 비뚤비뚤하게 되어 차수, 지반보강 등 소정의 기능을 발휘하기 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 지상에서 지중 내 굴진장비의 수직도를 자동으로 측정하는 장치를 개발하였다.

본 연구를 통하여 개발된 무선송수신 수직도 자동측정장치는 기존의 측정장치와는 달리 수직을 요하는 작업을 함에 있어서 작업자가 측정된 각도를 육안으로 직접 보기 어려운 경우 측정센서에서 측정된 결과를 작업자가 위치하는 곳으로 무선 송신하고 작업자가 수신기로 수신된 측정데이터를 확인할 수 있게 하는 각도 자동측정장치이다.

본 연구에서 개발한 심층혼합처리장비에 장착된 무선송수신 수직도 자동측정장치의 구성도는 그림 5와 같으며, 무선송수신 수직도 자동측정장치에 의한 심층혼합장비의 수직도 자동측정 절차는 다음과 같다. 심층혼합처리장비가 지중으로 굴진하게 됨에 따라 각도측정기의 각도센서부에서는 측정물에 부착된 센서의 기울기에 따라 출력전압레벨을 다르게 출력하여 센서신호처리부에 보내고 센서신호처리부에서는 각도센서부에서 보낸 아날로그 신호를 디지털신호로 변환한다. 다시 이를 데이터 무선송신부로 보내며 데이터 무선송신부에서는 이 디지털신호를 작업자가 위치한 각도표시기에 보내면 각도표시기의 데이터 무선송신부에서는 송신된 측정 데이터신호를 수신하고 데이터 연산처리부로 보낸다. 데이터 연산처리부에서는 수신된 신호를 데이터 표시부에 보내고 데이터 표시부에서는 이 신호를 화면에 표시하여 작업자가 육안으로 확인할 수 있게 하였다.

여기에서 송신기는 센서에서 출력되는 신호를 작업자가 위치한 수신기에 데이터를 무선으로 송신하며, 수신기는 멀리 떨어진 있는 송신기에서 보내오는 데이터를 수신하여 작업자가 확인할 수 있도록 표시장치에 데이터 값을 표시한다. 수신기는 작업자가 휴대하고 이동하면서 확인할 수 있고 작업실, 운전석, 조정실 등 어디에나 설치 할 수 있다. 또한 수신기는 자체 점검기능이 있으며, 수신신호가 없거나 약하면 작업자에게 경보음과 함께 메시지를 표시하는 등의 기타 부가기능이 있다.

본 연구에서 개발된 장치를 장착하게 되면 작업자가 어느 위치에서나 심층혼합처리장비 굴착부의 수직도를 쉽고 정확하게 파악할 수 있으며, 심층혼합처리장비 굴진부의 수직도가 항상 유지되면서 시공이 행하여지므로 고품질의 심층혼합처리벽체를 얻을 수가 있어 공사가 성공적으로 수행될 수 있다.

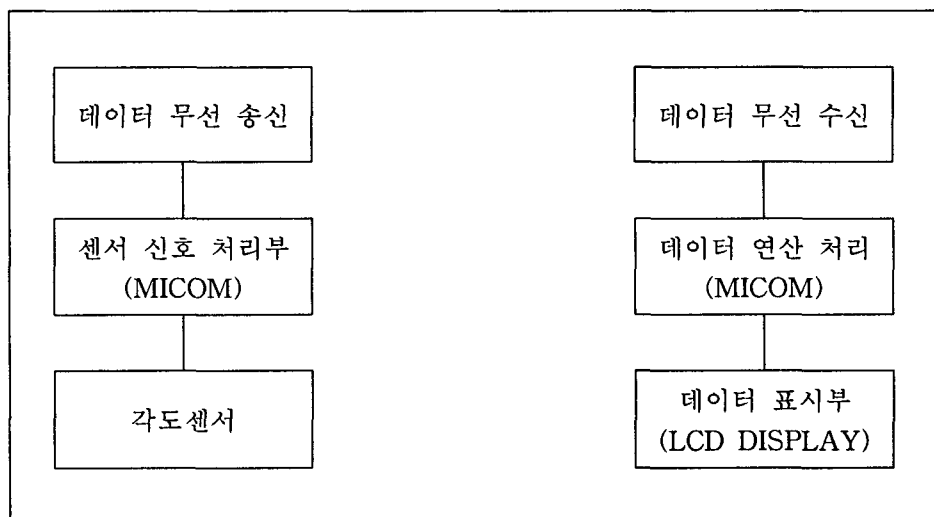


그림 5. 무선송수신 수직도 자동측정장치의 구성도

4. 유무선송수신 심도 자동측정장치 개발

일반적으로 보링·그라우팅 및 심층혼합처리 작업 시 원하는 깊이로 구멍을 천공 또는 원지반토와 혼합하고자 하는 경우, 작업자들이 지중 작업의 깊이를 실제로 관측할 수가 없어 종래에는 장비의 로드가 지중으로 관입되는 것을 장비운용자 이외의 다른 작업자가 육안으로 파악하여 대략적으로 깊이를 맞추거나, 또는 수직으로 세워진 리더에 수치를 표시하여 지중으로 관입되는 로드와의 위치 차이로 대략적인 깊이를 파악하였다. 따라서 작업 시 원하는 정확한 깊이로 지중에 구멍을 천공하거나 원지반토와 교반 혼합하기가 사실상 매우 어려웠다. 이로 인하여 지중에 천공된 구멍이나 교반 혼합된 부분의 깊이가 당초의 설계 깊이보다 더욱 깊거나 얇게 되는 등 오차가 발생하여 공사의 정확도가 떨어져 주실 시공되는 문제점이 발생하였다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 지상에서 지중의 깊이를 자동으로 측정하는 장치를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 유·무선송수신 심도 자동측정장치는 보링·그라우팅 작업 시 천공 또는 교반 혼합되는 지중의 깊이를 실시간으로 측정하면서 정확한 깊이의 심도를 측정할 수 있는 장치이다. 본 자동측정장치는 지중에 구멍을 천공 또는 천공된 구멍에 약액주입 등의 작업을 하거나 원지반토에 약액을 교반 혼합하여 차수 및 지반보강 등의 작업이 이루어지는 보링 그라우팅 작업 시에 적용되는 것으로 지중에 정확한 깊이의 구멍을 천공하거나 정확한 깊이까지 교반 혼합하기 위한 것이다.

본 연구에서 개발한 보링·그라우팅장비에 장착된 유무선송수신 심도 자동측정장치의 구성도는 그림 6과 같으며, 유무선송수신 심도 자동측정장치에 의한 보링·그라우팅장비의 심도 자동측정 절차는 다음과 같다. 보링·그라우팅장비의 리더 상단에는 심도를 측정하고 측정된 데이터신호를 전송하기 위한 체인기어부와 엔코더로 구성된 심도측정기가 고정부착되어 있다. 이 심도측정기로부터 측정된 데이터신호를 유선 또는 무선으로 심도표시부로 전송한다. 심도표시부의 중앙처리부에서는 전송된 데이터신호와 엔코더의 분해능을 통해 정확하게 수치상으로 심도를 계산하며 굴착되는 땅속의 깊이를 실시간으로 제공한다.

본 연구에서 개발된 장치를 장착하게 되면 작업자가 지상에서 지하의 보링·그라우팅장비 및 심층혼합장비 굴착심도를 정확하게 파악할 수 있으며, 일정한 심도를 가진 보링·그라우팅 및 심층혼합처리 공사가 성공적으로 수행될 수 있다.

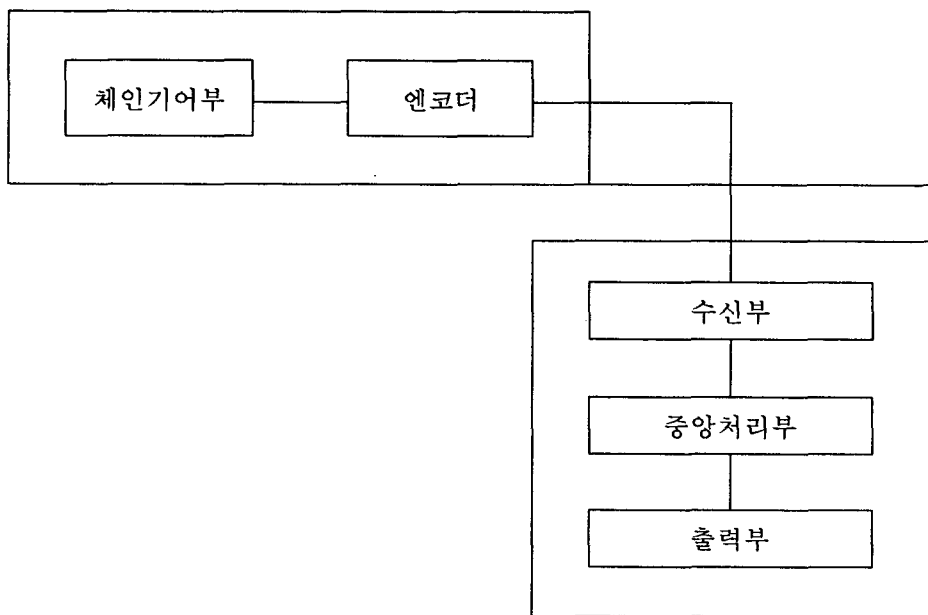


그림 6. 유·무선송수신 심도 자동측정장치의 구성도

5. 유·무선송수신 수직도 및 심도 자동측정장치가 장착된 심층혼합처리공법 개발

본 연구를 통하여 상기에 언급한 바와 같이 무선송수신 수직도 자동측정장치 및 유·무선송수신 심도 자동측정장치가 개발되었다. 이는 기존의 심층혼합처리공법인 DWM장비 등에 장착되었으며, 새로 개발된 보링·그라우팅장비 및 심층혼합장비를 사용함으로써 심층혼합처리공사 등에 있어서 더욱 시공성이 향상되고 경제성이 증진되며 환경친화적이고 안정성이 증진된 공사가 가능하게 되었다. 이들 자동측정장치가 장착된 장비를 사용하는 공법은 다음과 같은 특징을 가지게 된다.

○ 시공성

- 정확한 수직도를 유지하면서 시공이 가능하므로 정연한 지중 개량체의 형성이 가능하다.
- 작업중에 굴진 심도의 파악이 가능하므로 설계 심도까지 정확한 지중 개량체 형성이 가능하다.
- 시공 중에 수직도 및 심도 파악이 실시간으로 가능하다.
- 기존의 굴착장비에 장착하게 되면 시공성이 향상되고 정밀한 시공이 된다.
- 개량체의 특성에 따라 조기의 높은 강도의 개량기둥체를 형성할 수 있다.
- 대상 및 구조물의 종류에 따라 육상 및 해상, 지중 및 지상 시공이 가능하다.

○ 경제성

- 시공성이 뛰어나므로 공기를 크게 단축시킬 수 있다.
- 재시공을 미연에 방지하므로 경제성이 탁월하다.
- 기술을 국산화함으로써 공사비가 저렴할 뿐 아니라 외화절감 효과도 가져온다.

○ 환경친화성

- 시공 시에 발생하는 슬라임을 많이 줄일 수 있다.
- 주변지반에 미치는 영향이 적으며 무공해공법이다.
- 시공시간의 단축으로 사용연료저감 등 환경친화적이다.
- 사용되는 개량재는 주변 환경에 영향을 미치지 않는 무공해 재료이다.
- 개량체의 고화를 통한 중금속 등의 불용출화로 환경적으로 안정한 상태를 유지시킨다.

○ 안정성

- 지중에 품질이 균일한 개량체를 형성할 수 있다.
- 구조적으로 안정된 지중 개량체를 형성할 수 있다.
- 기존 장비에 비하여 자동화됨으로 작업자 및 근로자의 안전성을 확보 할 수 있다.
- 자동화시스템을 도입하여 공사의 안정성이 확보된다.
- 개량체의 강도 및 투수계수를 일정하게 안정적으로 얻을 수 있다.
- 개량체의 품질관리가 향상되어 안정성이 증진된다.

6. 결론

본 논문에서는 무선송수신 수직도 자동측정장치 및 유·무선송수신 심도 자동측정장치가 장착된 보링·그라우팅장비 및 심층혼합처리장비를 개발하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 몇 가지의 효과를 얻을 수가 있었다.

- 1) 지중굴착장비의 수직도 및 심도를 자동으로 측정하기 위한 유·무선송수신 자동측정장치를 개발하였다.
- 2) 기존의 DWM공법에 개발된 자동측정장치를 장착하여 이의 효율을 증진시킬 수 있게 되었다.

- 3) 기존의 보링·그라우팅장비 및 심층혼합처리장비의 수직도 및 심도의 자동측정이 가능하게 되었다.
- 4) 기타 지중연속벽공사, 연직배수재타설공사, 파일함타공사, 모래다짐말뚝공사, 심정착정공사, CIP공사 등과 같은 토목공사에도 적용이 가능하다.

참고문헌

- 1 유찬, 한우선, 김승렬, 정덕교, 한만복(2002), 지하환경오염원 확산방지공법의 적용사례, 2002 지반환경 및 준설매립에 관한 학술세미나.
2. 해공환경산업주식회사, 연약지반 고결층 교반관입 고화처리공법, 카타로그.
3. 현재혁(2002), 사용종료 매립지의 개선방안과 현장적용 사례, 2002 지반환경, 한국건설기술연구원.
4. Shuhua Wang, Yang Cao, Ruo Yu Yang and Heng Li(2002), A knowledge-based system for automatic measurement of steel reinforcement, Automation in Construction, V. 11, Issue 5, pp. 607-616.
5. Oweis, I.S. and Khera, R.P.(1990), "Geotechnology of Waste Management", Butterworths, pp. 171~273.
6. US EPA(1991), "Innovative treatment technologies : Overview and guide to information sources", EPA-540-990-002, pp. 1.1~11.30.